

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет информационных технологий

(наименование института полностью)

Кафедра «Информационные технологии и системы»

(наименование кафедры полностью)

09.03.02 Информационные системы и технологии

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Интеллектуальные веб-ориентированные системы и технологии

(наименование профиля/специальности)

РЕФЕРАТ

по дисциплине

«Системный анализ и проектирование информационных систем»,

ч.1 «Основы системного анализа»

(наименование дисциплины)

На тему: Теория сложных систем по Дж. Форрестеру. Ограниченность

глобальных моделей мировой динамики

Вариант - 27

Выполнил: обучающийся

группы ИС/б-23-1-о

Баймурадов Т. Р.

(инициалы, фамилия)

«__» 2025г.

Принял:

(инициалы, фамилия)

«__» 2025г.

Севастополь

2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Теория сложных систем по Дж. Форрестеру	5
1.1. Краткая сводка	5
2. Мировая модель Дж. Форрестера	8
2.1. Краткое описание мировой модели	8
2.2. Структура и ключевые переменные.	9
2.3. Рассчеты модели Форрестера	10
2.4. Основные причинно-следственные связи и петли обратной связи. . .	12
2.5. Математическая основа и предположения.	13
3. Критика и ограничения модели мировой динамики Дж. Форрестера	14
3.1. Критика со стороны научного сообщества	14
3.2. Методологическое упрощение и игнорирование качественных изменений.	14
3.3. Спорность и произвольность количественных гипотез и зависимостей.	15
3.4. Игнорирование социальных, политических и технологических факторов.	15
3.5. Ценность и границы подхода	16
4. Значение работы Форрестера и её влияние	18
4.1. Зарождение и институционализация глобального моделирования. .	18
4.2. Формирование экологического сознания и концепции «Пределов роста».	18
4.3. Методологический прорыв и влияние на смежные дисциплины.	19
Заключение	21
Список использованных источников	22

ВВЕДЕНИЕ

Во второй половине XX века человечество столкнулось с новыми глобальными вызовами: ростом населения, индустриализацией, истощением ресурсов и загрязнением среды. Традиционные пути развития исчерпали себя, потребовав целостного взгляда на мир как на единую сложную систему. Ответом на эту общественную потребность стало зарождение методологии системного анализа и системной динамики. Этот подход позволяет исследовать сложные системы с нелинейными связями и создавать формальные модели для анализа долгосрочных последствий решений, что необходимо для выработки политики устойчивого развития.

Актуальность «Мировой динамики» обусловлена новыми достижениями в науке о сложных системах, острой необходимостью перехода к устойчивой экономике в рамках планетарных границ, а также потребностью в инструментах для анализа системных причин глобальных кризисов. Ведущие научные центры (MIT, IIASA) развивают методы системной динамики для моделирования климата, экономики и социальных изменений, используя более мощные вычислительные средства и данные. Изучение подхода Форрестера даёт важные уроки для современного моделирования в условиях неопределённости.

Объектом исследования является сложная динамическая система глобального масштаба — мировая система, включающая взаимосвязанные демографические, промышленные, ресурсные и экологические процессы. Предметом исследования выступает методология системной динамики Дж. Форрестера в её приложении к глобальному моделированию, а также её ограничения. В фокусе внимания — принципы построения моделей (уровни, потоки, обратные связи), ключевые гипотезы о взаимодействиях в системе и сценарии долгосрочной динамики, такие как коллапс.

Основным источником послужила книга Дж. Форрестера «Мировая динамика» с критическими комментариями редакторов русского издания. Также

фундаментальное значение имеет работа последователей — «Пределы роста» Д. Медоуз. Для анализа современного состояния проблемы привлекались научные статьи по темам критики модели Форрестера и ограничений глобального моделирования и авторитетные энциклопедические ресурсы.

1. ТЕОРИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПО ДЖ. ФОРРЕСТЕРУ

1.1. Краткая сводка

Теория сложных систем, разработанная Джеймем Форрестером и названная им системной динамикой, представляет собой методологический подход к изучению и моделированию систем, характеризующихся высокой структурной сложностью, нелинейностью и многочисленными петлями обратной связи. Сложная система, по Форрестеру, — это многозвенная структура большого порядка с нелинейной обратной связью. Все социальные системы, включая управление корпорациями, урбанизированные территории, национальные правительства, экономические процессы и международную торговлю, относятся к этому классу.

Ключевой особенностью сложных систем является наличие цепей обратной связи, как положительных, так и отрицательных.

$$\frac{dy}{dt} = y^+ - y^-,$$

где y^+ — положительный темп скорости переменной y , включающий в себя все факторы, вызывающие рост переменной y ; y^- отрицательный темп скорости, включающий в себя все факторы, вызывающие убывание переменной y .

Цепь обратной связи — это структура, в которой решение приводит к действиям, изменяющим состояние системы, что, в свою очередь, генерирует новую информацию для последующих решений. Отрицательные обратные связи стабилизируют систему, стремясь к заданной цели, в то время как положительные — ведут к экспоненциальному росту или спаду, уводя систему от точки неустойчивого равновесия. Взаимодействие множества таких петель, смещение доминирования между ними и определяет поведение системы.

Форрестер выделяет ряд фундаментальных и часто контринтуитивных свойств сложных систем. Во-первых, их поведение противоречит интуиции, выработанной на опыте взаимодействия с простыми системами. В простых системах причина и следствие тесно связаны во времени и пространстве, тогда как в сложных — они могут быть сильно разнесены. Это приводит к тому, что меры, направленные на устранение симптомов, часто не затрагивают истинные причины и могут ухудшить ситуацию. Во-вторых, сложные системы удивительно нечувствительны к изменениям многих своих параметров. Значительные колебания в численных значениях параметров часто приводят к незначительным изменениям в поведении системы, поскольку её динамика определяется в первую очередь структурой, а не точными величинами. В-третьих, системы резистентны к административным нововведениям; большинство управленческих решений, меняющих параметры, но не структуру, не оказывает долгосрочного эффекта.

Одновременно сложные системы обладают высокой чувствительностью к изменениям в немногочисленных ключевых точках влияния, которые часто находятся в неочевидных местах. Кроме того, они склонны нейтрализовать корректирующие программы, замещая внутренние процессы внешними воздействиями, что снижает общую эффективность вмешательств. Важным свойством является конфликт между краткосрочной и долгосрочной реакцией: меры, дающие немедленный положительный эффект, могут в перспективе привести к противоположным, негативным последствиям. Наконец, сложные системы имеют внутреннюю тенденцию к ухудшению качества, особенно при неправильных, основанных на интуиции попытках управления.

В качестве основного инструмента познания и работы со сложными системами Форрестер предлагает имитационное моделирование. Модель понимается как логически совершенная теория, описывающая структуру и внутренние взаимодействия в системе. Ключевой принцип построения полезной модели — создание замкнутой системы, внутри которой содержатся все компоненты, генерирующие исследуемую проблему. Акцент должен делаться не на сглаживании симптомов, а на выявлении и устранении глубинных при-

чин, что часто требует действий, противоположных интуитивным решениям. Форрестер подчёркивает, что главным барьером для понимания социальных систем является не недостаток данных, а несовершенство теорий об их структуре, а также искусственное разделение знаний на изолированные дисциплины. Для успеха необходимо интегрировать экономические, психологические, технические и политические аспекты внутри единой системной структуры.

2. МИРОВАЯ МОДЕЛЬ ДЖ. ФОРРЕСТЕРА

2.1. Краткое описание мировой модели

В 1968 году бизнесмен и общественный деятель Аурелио Печчеи выступил инициатором создания Римского клуба — организации, объединившей экспертов для анализа глобальных вызовов. Одной из ее первоочередных задач было привлечение широкого внимания к накопленным проблемам планетарного масштаба. Осознав, что математические модели могут стать наиболее объективным и наглядным инструментом для этой цели, члены клуба в июне 1970 года на заседании в Берне предложили профессору MIT Джейю Форрестеру, главе группы системной динамики, разработать такую модель.

Мировая модель, представленная Джейем Форрестером в книге «Мировая динамика», является первой законченной попыткой применить методы системной динамики к моделированию глобальных процессов в масштабе всей планеты. Форрестер предложил свою компьютерную разработку «Мир-1», ставшую основой для знаменитой экологической концепции «пределов роста». Затем, после некоторых усовершенствований, он построил модель «Мир-2», продемонстрированную членам Римского клуба и фактически послужившую толчком для возникновения нового направления исследований — глобального моделирования, предназначенного для выявления и анализа тенденций мирового развития.

Целью модели было создание инструмента для изучения поведения мировой системы как единого целого, а не простой суммы её частей. Форрестер исходил из того, что взаимодействия внутри целого важнее, чем отдельные его элементы, и что для понимания долгосрочных тенденций необходимо рассматривать взаимовлияние ключевых подсистем: демографической, индустриальной и сельскохозяйственной. Модель носила экспериментальный и предварительный характер, служа основой для дискуссии и последующего совершенствования.

2.2. Структура и ключевые переменные.

В основе модели лежит выделение пяти основных системных уровней (накопителей), полностью описывающих состояние системы в любой момент времени. Ими являются:

- 1) население (P) – количество людей;
- 2) капиталовложения или фонды (K) – накопленный производственный капитал,
инфраструктура;
- 1) природные ресурсы (R) – запасы невозобновляемых ресурсов;
- 2) загрязнение (Z) – уровень загрязнения окружающей среды;
- 3) часть фондов, вкладываемых в сельское хозяйство (X) – доля капитала,
направляемая в аграрный сектор.

А также факторы, через которые и осуществляется взаимовлияние переменных при построении дифференциальных уравнений:

- относительная численность (плотность) населения P_P (население, нормированное на его численность в 1970 году);
- удельный капитал K_P ;
- материальный уровень жизни C ;
- относительный уровень питания (количество пищи на человека) F ;
- нормированная величина удельного капитала в сельском хозяйстве X_P ;
- относительное загрязнение Z_S ;
- доля остающихся ресурсов R_R .

Помимо перечисленных переменных, Форрестер ввел еще понятие о «качестве жизни» Q . Этот фактор является своего рода мерой функционирования исследуемой системы, т.е. носит характер индикатора. Зависит этот индикатор от четырех факторов P_P, C, F, Z_S : $Q = Q_C Q_F Q_P Q_Z$. В целом он не играет существенной роли в модели, поэтому, в дальнейшем не рассматривается.

Для системных уровней пишется система дифференциальных уравнений, которая в упрощенном виде записывается так:

$$\frac{dP}{dt} = P(B - D),$$

$$\frac{dK}{dt} = K_+ - \frac{K}{T_K},$$

$$\frac{dX}{dt} = X_+ - \frac{X}{T_X},$$

$$\frac{dZ}{dt} = Z_+ - \frac{Z}{T_Z},$$

$$\frac{dR}{dt} = -R_-,$$

где $B = B(C, F, P_P, Z_S) = c_B \cdot B_{C(C)} \cdot B_{F(F)} \cdot B_{P(P_P)} \cdot B_{Z(Z_S)}$ – темп рождаемости,

$D = D(C, F, P_P, Z_S) = c_D \cdot D_{C(C)} \cdot D_{F(F)} \cdot D_{P(P_P)} \cdot D_{Z(Z_S)}$ – темп смертности,

$K_+ = K_+(P, C) = P \cdot K_{C(C)}$ – скорость производства основных фондов,

$X_+ = X_+(F, Q) = X_{F(F)} \cdot \frac{X_{Q(Q)}}{T_X}$ – прирост доли сельскохозяйственных фондов,

$Z_+ = Z_+(P, K_P) = P \cdot Z_{K(K_P)}$ – скорость генерации загрязнения,

$T_Z = T_{Z(Z_S)}$ – характерное время естественного разложения загрязнения,

$R_- = R_-(P, C) = P \cdot R_{C(C)}$ – скорость потребления ресурсов.

Динамика этих уровней определяется связанными с ними потоками (темпами), например, темпами рождаемости и смертности для населения, темпами создания и износа для фондов. Изменение уровней происходит только под влиянием этих потоков, а потоки, в свою очередь, управляются информационными связями от уровней, образуя замкнутые петли обратной связи.

2.3. Расчеты модели Форрестера

Расчеты по своей модели Форрестер проводил для временного интервала с 1900 по 2100 г.г. С 1900 г. по 1970 г. – главным образом, для того, чтобы «отладить» (настроить) параметры модели на известных данных, а с 1970 г. – уже как чисто прогнозные. Результаты расчетов приведены на рисунке 2.1.

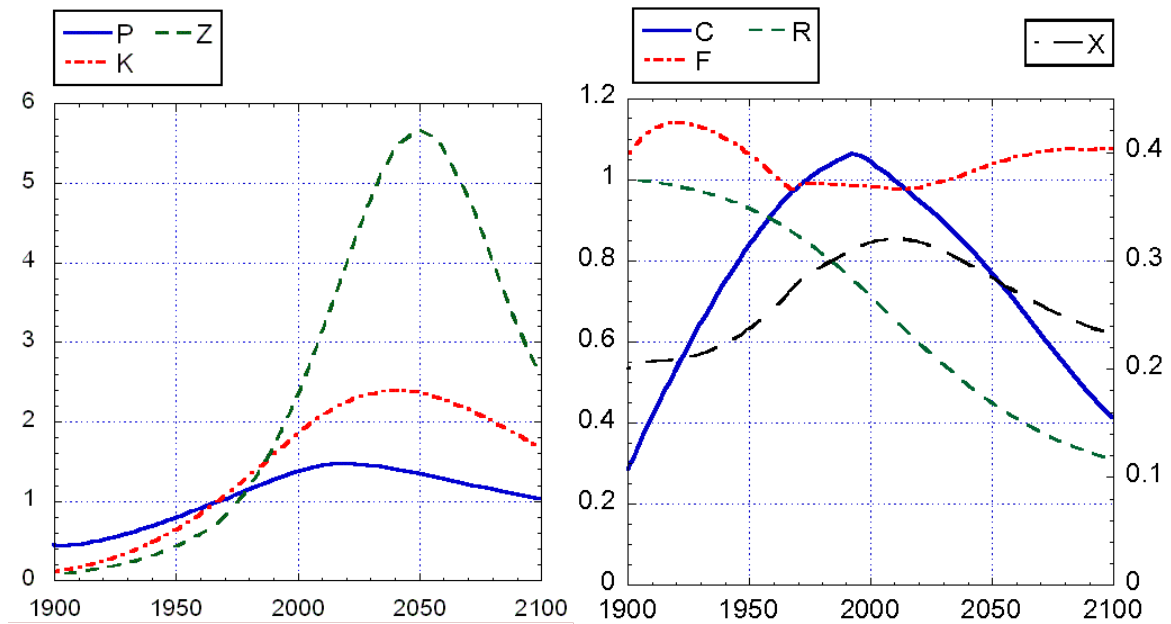


Рисунок 2.1 – Модель кризиса

Как показывают результаты моделирования, после периода стабильного роста численность населения начинает снижаться с 2025 года, сократившись за 75 лет в полтора раза (почти на 2 млрд человек). К 2100 году запасы невозобновляемых природных ресурсов уменьшаются до менее чем трети от начального уровня (R_0). Уровень загрязнения достигает пика около 2050 года, многократно превышая установленный стандартный уровень (Z_N), а затем снижается вслед за общим спадом промышленного производства и уменьшением населения.

Материальный уровень жизни достигает своего максимума примерно в 2000 году, после чего начинает падать. Относительный уровень питания после 1970 года незначительно снижается до примерно 2015 года, а затем возрастает на фоне сокращающейся численности населения, демонстрируя в целом стабильную динамику — это связано главным образом с заложенным в модель алгоритмом распределения инвестиций между отраслями. Модель наглядно показывает, как истощение ресурсов приводит к резкому сокращению населения и коллапсу промышленного производства.

2.4. Основные причинно-следственные связи и петли обратной связи.

Модель описывает мир как систему взаимосвязанных петель, которые можно разделить на две основные категории: положительные (усиливающие, ведущие к экспоненциальному росту) и отрицательные (уравновешивающие, стремящиеся стабилизировать систему). Ключевые взаимодействия, заложенные в модель, включают пункты ниже.

1) Рост населения и капитала: Положительная петля «капитал \rightarrow продукция \rightarrow капитал» и петля роста населения за счёт рождаемости ведут к экспоненциальному увеличению этих показателей.

2) Ограничивающие факторы (отрицательные обратные связи): Рост системы наталкивается на природные пределы, что активизирует стабилизирующие механизмы. Модель исследует четыре основных потенциальных барьера роста:

3) Истощение природных ресурсов: Рост населения и промышленности увеличивает темп использования ресурсов (NRUR). Их истощение (уменьшение R) снижает эффективность фондов (K) и материальный уровень жизни (C), что в конечном счёте может привести к снижению темпов роста населения и производства.

4) Накопление загрязнения: Рост промышленности (фондов) ведёт к увеличению загрязнения (Z) через множитель Z_+ . Загрязнение, в свою очередь, влияет на здоровье, повышая смертность (D) и, по предположению Форрестера, снижая рождаемость (B), а также уменьшая производство продуктов питания (F).

5) Нехватка продовольствия: Рост населения увеличивает плотность (P_P), что уменьшает площадь сельхозугодий ($F C M$). Одновременно для повышения производства пищи требуется направлять больше капитала в сельское хозяйство (X). Нехватка пищи (снижение относительного уровня питания F) напрямую влияет на смертность (D) и рождаемость (B).

6) Плотность населения: Увеличение плотности (P_p) оказывает прямое психологическое и социальное давление, моделируемое через снижение рождаемости (B) и повышение смертности (D).

2.5. Математическая основа и предположения.

Модель была реализована на языке динамического моделирования DYNAMO. Её математический аппарат состоит из уравнений уровней (интегральных уравнений, описывающих накопление) и уравнений темпов. Количественные зависимости между переменными (например, влияние материального уровня жизни C на темп рождаемости B) задавались не аналитическими формулами, а таблично, на основе экспертных гипотез и фрагментарных данных того времени. Важнейшим исходным допущением модели является экспоненциальный рост ключевых параметров (населения, капитала) в течение известной истории, который в будущем неизбежно столкнётся с физическими пределами конечной планеты. Модель агрегирует мировые показатели, не учитывая различий между развитыми и развивающимися странами, и отражает в основном мотивации и условия недавнего прошлого (1970-х годов).

3. КРИТИКА И ОГРАНИЧЕНИЯ МОДЕЛИ МИРОВОЙ ДИНАМИКИ ДЖ. ФОРРЕСТЕРА

3.1. Критика со стороны научного сообщества

Несмотря на новаторский характер и огромное влияние, мировая модель Форрестера с момента публикации подвергалась обоснованной и интенсивной критике со стороны научного сообщества. Эта критика, отчасти отражённая в комментариях редакторов русского издания, затрагивает методологические основы, теоретические допущения и практическую применимость модели. Ограничения можно сгруппировать по нескольким ключевым направлениям.

3.2. Методологическое упрощение и игнорирование качественных изменений.

Главная претензия заключается в том, что модель описывает мир как детерминированную, гладкодинамическую систему, подчиняющуюся в основном количественным законам. Критики, включая редакторов книги, отмечают, что социальные системы обладают рефлексивностью и «памятью»: их будущее зависит не только от текущего состояния, но и от исторического опыта, культурных и политических решений, которые не могут быть сведены к дифференциальным уравнениям. Кроме того, модель по своей конструкции не способна учитывать фазовые переходы и качественные скачки в развитии (например, смену технологических укладов или социальных парадигм), если они не заложены в неё извне. Как отмечается в комментариях, машинные модели в принципе не могут учесть качественных изменений, если они не заданы явно человеком-проектировщиком. Это делает модель инструментом экстраполяции существующих тенденций, но не предвидения радикальных трансформаций.

3.3. Спорность и произвольность количественных гипотез и зависимостей.

Многие критические замечания касаются конкретных нелинейных зависимостей, представленных в модели в виде табличных функций. Эти зависимости, как признавал сам Форрестер, часто основывались на фрагментарных данных и экспертных оценках, что делало их уязвимыми для критики.

Гипотеза о сильном влиянии загрязнения на снижение рождаемости (B) названа неочевидной и недостаточно обоснованной. Также ошибочным считается положение о том, что рост уровня жизни (материального потребления) способствует увеличению количества населения; для индустриальных стран наблюдается обратная корреляция.

Утверждение, что «капитал порождает капитал», справедливо лишь для индустриальной фазы и не работает в доиндустриальном или постиндустриальном контексте. Модель игнорирует кризисы ликвидности и падение производительности капитала.

Допущения о механизмах и масштабах влияния загрязнения на смертность и производство пищи признаются произвольными. Отмечается, что разные типы загрязнений действуют по-разному, а способность биосферы к ассимиляции может быть выше, или, наоборот, могут возникать необратимые пороговые эффекты.

3.4. Игнорирование социальных, политических и технологических факторов.

Модель сосредоточена на материально-демографических и экологических взаимодействиях, оставляя за скобками сознательное управление, социальные институты, научно-технический прогресс и культурные ценности. Как отмечает Д.М. Гвишиани в предисловии, в модели не учтены возможности сознательного управления развитием и более полный учет социальных факторов. Прогресс в технологии рассматривается лишь как внешний, зада-

ваемый вручную параметр (например, снижение ресурсоёмкости), а не как эндогенный процесс, способный принципиально изменить ограничения (переход к возобновляемой энергетике, рециклингу, безотходным технологиям). Критики указывали на поспешность и недостаточную обоснованность выводов, требующих немедленного ограничения роста, без учёта адаптационного потенциала общества и технологий.

3.5. Ценность и границы подхода

Необходимо сказать, что в задачу Дж. Форрестера при построении модели не входило точное предсказание количественных характеристик мировой системы, но скорее выявление общих качественных тенденций динамики основных переменных, анализ чувствительности результатов по отношению к различным заложенным в модель предположениям (сам Форрестер изначально считал «Мир-2» просто рабочей моделью, помогающей лучше освоить предмет системной динамики). Для достижения этой цели существенным является не столько точное количественное определение всех параметров модели, сколько правильный учет причинно-следственных связей системы.

Следует обратить внимание на то, что численные результаты модели по населению вступают в противоречие с реальными данными о том, как на самом деле росло население Земли за последние 30 лет. Так, например, в 2000 г. реальная численность населения была чуть больше 6 млрд. чел., в то время как модель «Мир-2» предсказывала 5 млрд. Это дает повод усомниться в численном, количественном соответствии модели и реальности, но такая цель и не преследовалась автором модели. Здесь куда важнее качественная сторона результатов, т.е. вид динамики переменных, поскольку не вполне ясно в какой мере будут соотноситься модель и реальность в будущем. Может оказаться, кроме того, что реальная динамика более сжата или, наоборот, растянута по времени, т.е. условные годы – временные шаги модели – могут соответствовать месяцам или, наоборот, десятилетиям в реальности. Для целей глобальной

модели и то, и другое не столь существенно по сравнению с поведением переменных системы. И если удастся это поведение хоть как-то предсказать, можно считать, что модель строилась не зря. С этой точки зрения вопрос о справедливости прогноза мировой динамики, данный в модели, до сих пор остается открытым (еще не прошли сроки, позволяющие судить, оправдался ли сделанный прогноз).

Таким образом, ограничения модели Форрестера носят не частный, а системный характер. Они вытекают из фундаментального упрощения, при котором сверхсложная, рефлексивная, неоднородная и способная к качественным скачкам социально-экологическая система была описана на языке относительно простой, детерминированной, гомогенной и гладкой динамической системы. Однако, как подчёркивают критики, ценность работы Форрестера заключается не в абсолютной истинности его конкретных прогнозов, а в демонстрации самого подхода и постановке вопроса о пределах роста, что стимулировало развитие более сложных и адекватных методов глобального моделирования.

4. ЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ ФОРРЕСТЕРА И ЕЁ ВЛИЯНИЕ

4.1. Зарождение и институционализация глобального моделирования.

Главная заслуга Форрестера заключается в том, что он совершил качественный скачок от теоретических рассуждений о будущем к созданию первой законченной формализованной модели мировой системы, основанной на чётких методологических принципах. Как отмечает Николай Ютанов, «на смену аналитике пришла модель. Мир вступил в эпоху вычислительной математики». Форрестер продемонстрировал «инженерный подход к проблемам эволюции мира», подарив человечеству принципиально новое знание: «мир вычисляем». Его работа послужила непосредственным толчком и методической основой для целого направления научных исследований, получившего название глобального моделирования. Проекты М. Месаровича и Э. Пестеля, латиноамериканский проект А. Эрреры, работы В. Леонтьева, Я. Тинбергена и других были во многом спровоцированы или вдохновлены работой Форрестера. Таким образом, «Мировая динамика» стала точкой кристаллизации новой междисциплинарной области знания.

4.2. Формирование экологического сознания и концепции «Пределы роста».

Развивая идеи Форрестера, его ученик Деннис Медоуз создал более детализированную модель «Мир-3». Результаты работы, основанные, как и предшественник, на методологии системной динамики, были опубликованы в 1972 году в знаменитом докладе Римскому клубу «Пределы роста». Модель сохранила пять ключевых секторов (население, промышленность, сельское хозяйство, загрязнение, невозобновляемые ресурсы), но увеличила число пе-

ременных, проведя их дезагрегацию, и внесла ряд усложнений. При этом расчёты на интервале с 1900 по 2100 год показали качественно схожую с «Мир-2» динамику, предсказывая коллапс вследствие истощения ресурсов и чрезмерного загрязнения.

Однако, несмотря на бóльшую детализацию, модель «Мир-3» представляется методологически ещё более уязвимой. Как признавал сам Медоуз, модель опиралась лишь на 0,1% необходимых данных, что могло привести к некорректности отдельных заданных зависимостей. Чрезмерное усложнение при резком росте числа параметров серьёзно затруднило верификацию модели. Сходство конечных результатов объясняется сохранением прежнего ядра — ключевых уравнений по ресурсам и загрязнению. Таким образом, существенного улучшения прогностической силы достигнуто не было, а риски ошибок возросли, что ставит под вопрос эффективность проведённого усложнения.

4.3. Методологический прорыв и влияние на смежные дисциплины.

Форрестер не просто создал модель мира; он представил и популяризировал методологию системной динамики как универсальный инструмент для анализа сложных нелинейных систем любого масштаба – от корпорации до города и планеты. Его подход показал, как можно связывать разрозненные знания из разных областей (демографии, экономики, экологии) в единую непротиворечивую структуру, проверяемую на компьютере. Этот метод получил широкое признание и применение в менеджменте, политологии, эпидемиологии, урбанистике (динамика развития города) и многих других сферах. Методология стала необходимой «палочкой-выручалочкой» для специалистов в конкретных областях, не имеющих глубокой подготовки в теории сложных систем, позволяя им строить и исследовать математические модели интересующих процессов.

Как ни парадоксально, критика в адрес модели Форрестера стала одним из важнейших свидетельств её значимости. Книга привлекла внимание мировой общественности и стала предметом ожесточенных дискуссий. Именно в ходе этой полемики рождались новые проекты и усовершенствованные модели. Критика заставила исследователей глубже обосновывать свои гипотезы, учитывать региональные различия, социальные факторы и технологический прогресс. Таким образом, работа Форрестера выполнила роль мощного катализатора научного поиска, задав высокую планку для всех последующих исследований в области моделирования глобальных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Джей Форрестер своей книгой «Мировая динамика» подвёл черту под целой эпохой неспешных размышлений и открыл эпоху конструирования формальных моделей сложных мировых систем. Несмотря на упрощения и спорные допущения, его работа заложила краеугольный камень современного системного анализа глобальных проблем. Она изменила язык дискуссии о будущем, введя в него понятия обратных связей, пределов роста и динамического равновесия. Влияние Форрестера вышло далеко за рамки академической науки, оказав непосредственное воздействие на формирование международной экологической повестки и осознание планетарной ответственности человечества. Его модель стала не столько инструментом для точных прогнозов, сколько мощной концептуальной схемой, демонстрирующей системную взаимосвязанность глобальных вызовов и необходимость комплексного подхода к их решению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Форрестер д. Ф79 Мировая динамика: Пер. с англ. / д. Форрестер. – М.: 000 «Издательство АСТ; СПб.: Terl'a Fantastica, 2003. – 379, [5] с. – (philosophy). ISBN 5-17-О 19253-3 (000 «Издательство ЛСТ») ISBN 5-7921-0613-4 (Ten'a Fantastica). URL: <https://djvu.online/file/0NAX1K6qhNvQA>

2. Донелла Медоуз, Йорген Рандерс, Деннис Медоуз Пределы роста. 30 лет спустя/ Пер. с англ. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.-342с.: ил. ISBN 978-5-94628-218-5. URL: <https://djvu.online/file/o9TcDPPVDb94t>

3. Махов С.А. Математическое моделирование мировой динамики и устойчивого развития на примере модели Форрестера. Москва, 2005. РФ НИИ-374.2003.1. URL: https://www.keldysh.ru/papers/2005/prep06/prep2005_06.html

4. В. М. Лейбин Римский клуб: хроника докладов. 21 Meadows D. Beyond the Limits. Vermont, 1992. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rimskiy-klub-hronika-dokladov>

5. В.А.Садовничий, А.А.Акаев, А.В.Коротаев, С.Ю.Малков. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / Научный совет по Программе фонд. исслед. Президиума Российской академии наук «Экономика и социология знания». – М.: ИСПИ РАН, 2012. – (Экономика и социология знания). – 359 с. ISBN 978-5-7556-0456-7. URL: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/69047508/2012_%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%8F-libre.pdf?1630766629=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3D69047508.pdf&Expires=1766111698&Signature=HGPwuiSqiCsWz4SG3aJCWMBa6wUxnJCX2vhwHmQvyJCNK1rFUfrPsF18teSQs2ZMvXmUZDLj~t079D330kyAb4wLtwuXOcx8wUl~6huWG~-1778GVIVrXg-2fs3w6JZsJdR2N4UuRjtLLk1q4s5jwJHHIDgpsuNIyWCoXRT8HhHRnLhTm8hei1rKzEIncBwIrWyAa9f9v-NP3~rD6JlpydEv5DeyWkmsMPMNvxcbIYvUcn~vlcqiPmgKu5Dr82UpxRRq3gfp1asZwbA5

N5fGkaQIqGFT012JYSXjRzhAJ01nQX5BWSjv3GC3hXwj6QcpuSoaRm7x8dg8H24c6
KLRIQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

6. Основы теории сложных систем: Конспект лекций. ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА» Кафедра информационных управляющих систем. URL: https://www.sut.ru/doci/umu/disc/4091/1_4.pdf

7. С. А. Махов Моделирование мировой динамики. Стр 33 – 53. URL: https://www.socionauki.ru/book/files/analiz_model_1/033-053.pdf

8. Горохов, А. В. Основы системного анализа : учебное пособие / А. В. Горохов. — Йошкар-Ола : ПГТУ, [б. г.]. — Часть 1 — 2013. — ISBN 978-5-8158-1280-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/76535> (дата обращения: 19.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

9. Общая теория систем : учебное пособие / А. В. Горохов, Л. В. Петрова, В. И. Абдулаев, А. В. Баранов. — Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. — 88 с. — ISBN 978-5-8158-1747-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/92569> (дата обращения: 19.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

10. Ю. Н. Сергеев, В. П. Кулеш КОНЦЕПЦИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИИ. 2013. ВЕСТНИК САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. Сер. 7, Вып. 2, ГЕОГРАФИЯ. УДК 519.6: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-tsiklicheskogo-razvitiya-tsivilizatsii>

11. ДЖЕЙ РАЙТ ФОРРЕСТЕР (14.07.1918 - 16.11.2016) И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. © 2017 Г.С. Розенберг. Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти (Россия). Поступила 21.11.2016. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dzhey-rayt-forrester-14-07-1918-16-11-2016-i-imitatsionnoe-modelirovanie>

12. Причина О. С., Орехов В. Д. ТЕНДЕНЦИИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ТРУДОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЮДЕЙ. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-i-zakonomernosti-evolyutsii-trudovoy-deyatelnosti-lyudey>

13. Мичурина, Ф. З. Экономическая теория : учебное пособие / Ф. З. Мичурина. — Пермь : ПГАТУ, 2021. — 396 с. — ISBN 978-5-94279-529-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/199136> (дата обращения: 19.12.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

14. Минц А. Ю. Моделирование Ценообразования на рынке жилой недвижимости методами системной динамики. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-tsenoobrazovaniya-na-rynke-zhiloy-nedvizhimosti-metodami-sistemnoy-dinamiki>

15. Wikipedia.org: Форрестер, Джей. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%80%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%2C_%D0%94%D0%B6%D0%B5%D0%B9